



Merguez enrichie en spiruline à base de viande de dromadaire

Merguez enrichie en spiruline à base de viande de dromadaire : effets prébiotiques et probiotiques.

Mots clés : spiruline ; viande de dromadaire, saucisses, sous vide, prébiotique, probiotique, agents pathogènes d'origine alimentaire

Auteurs : Djamel Djenane^{1,5} Mohammed Aider^{2,3}, Boumediène Méghit Khaled⁴, Agustín Ariño⁵

1. Laboratoire de Recherche sur les Viandes. Université Mouloud-Mammeri, 15000 Tizi-Ouzou, Algérie
2. Department of Soil Sciences and Agri-Food Engineering, Université Laval, Quebec City, QC G1V 0A6, Canada
3. Institute of Nutrition and Functional Foods (INAF), Université Laval, Quebec City, QC G1V 0A6, Canada
4. Lab-NuPABS, University, Sidi Bel Abbès 22005, Algeria
5. Facultad de Veterinaria, Instituto Agroalimentario de Aragón-IA2, Universidad de Zaragoza-CITA, 50013 Zaragoza, Espagne

Coordonnées de l'auteur correspondant : djamal.djenane@ummto.dz

La Spiruline, en tant qu'ingrédient naturel, peut être utilisée pour enrichir les merguez à base de viande de dromadaire et leur apporter des substances bénéfiques pour la santé humaine grâce ses effets prébiotiques.

Résumé

L'objectif de cette étude était d'examiner l'effet de l'ajout de spiruline (*Arthrosphaera platensis*) en poudre (SP) dans des Merguez élaborées exclusivement à partir de viande de dromadaire (*Camelus dromedarius*), et d'évaluer ses propriétés prébiotique et probiotique. L'étude du potentiel prébiotique a suggéré que l'ajout de SP aux saucisses de dromadaire favorisait la croissance de souches probiotiques capables d'inhiber la croissance de micro-organismes pathogènes tels que *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli* O157:H7. En conclusion, cette étude a mis en évidence le potentiel de la SP, en tant qu'ingrédient naturel, grâce à sa composition riche et à ses effets prébiotiques, pour constituer une source de substances bénéfiques pour la santé humaine. Elle offre également une approche alternative pour la production d'une nouvelle saucisse traditionnelle de type Merguez.

Abstract: Spirulina-enriched Merguez made with Camel Meat

The objective of the present work was to examine the effect of incorporating spirulina (*Arthrosphaera platensis*) powder (SP) in Merguez-type sausages made exclusively with camel (*Camelus dromedarius*) meat, as well as to evaluate its prebiotic potential. The ultimate goal was to offer an innovative meat product in order to increase the consumption of camel meat. The study of prebiotic potential suggested that adding SP to camel sausages promoted the growth of probiotic strains, which in turn were able to inhibit the growth of pathogenic microorganisms such as *S. aureus* and *E. coli* O157: H7. In conclusion, this study highlighted how SP as a clean label ingredient, thanks to its rich composition and its prebiotic effects, can be a source of substances beneficial to human health and offers an alternative approach to producing a new traditional Merguez-type sausage.

Keywords: spirulina; camel meat; sausages; vacuum storage; prebiotic; probiotic; foodborne pathogens

I. INTRODUCTION

La viande de dromadaire (*Camelus dromedarius*) présente des propriétés nutritionnelles reconnues comme celles d'autres viandes (bœuf, mouton...) (Elgasim *et al.*, 1992 ; Mohammed *et al.*, 2020). Cependant, son introduction à grande échelle reste problématique en raison de sa texture ferme (due à sa richesse en tissu conjonctif) et du fait qu'elle provient souvent d'animaux âgés. Les produits dérivés de cette viande, notamment les saucisses fraîches de type *Merguez*, pourraient constituer une excellente solution pour résoudre ce problème. Selon les dernières recherches menées dans le cadre des objectifs de développement durable, la spiruline est une excellente source de protéines et d'autres molécules bioactives. Il a récemment été démontré que la spiruline possède un potentiel prébiotique exceptionnel, qui renforce l'effet antibactérien des probiotiques contre les agents pathogènes. C'est la raison pour laquelle l'industrie agroalimentaire a développé plusieurs nouveaux produits à base de spiruline.

Les saucisses fraîches sont généralement conservées à l'air libre ou simplement emballées sans protection. Pour garantir la qualité et la sécurité de ces

produits, le conditionnement sous vide (SV) est souvent appliqué et parfois associé à des conservateurs naturels (Djenane *et al.*, 2020 ; Djenane et Aider 2024). Face à l'intérêt croissant pour la spiruline et ses applications potentielles, cette étude visait à évaluer les propriétés fonctionnelles, la qualité et la durée de conservation d'une saucisse à base de viande de dromadaire de type *Merguez* enrichie en spiruline. Pour comprendre les effets bénéfiques de l'ajout de spiruline, nous avons évalué la capacité antioxydante, l'activité antimicrobienne et l'efficacité en tant qu'agent prébiotique, dans le but de produire une nouvelle saucisse de dromadaire de type *Merguez*. La qualité du produit final, conservé sous vide pendant 35 jours, a été évaluée en termes de fonctionnalité, de propriétés physico-chimiques et microbiologiques, par rapport à une formulation standard (sans spiruline). L'effet de l'ajout de spiruline sur le profil sensoriel et la durée de conservation du produit a également été évalué. Ce travail pourrait inciter les transformateurs algériens de viande à utiliser la viande de dromadaire pour produire des produits carnés de haute qualité.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1 Préparation de saucisses de dromadaire de type *Merguez*

Figure 1. Processus de préparation des saucisses artisanales algériennes de type *Merguez* à base de viande de dromadaire. Les différentes étapes sont : (a) préparer la viande et le gras de dromadaire ; (b) hacher la viande et le gras avec de la poudre de spiruline ; (c) ajouter le mélange d'épices *Merguez* et le sel ; (d) préparer et nettoyer les boyaux de mouton frais ; (e) préparer et mettre en place les boyaux avant le remplissage ; (f) obtenir des saucisses artisanales de type *Merguez* à base de viande de dromadaire.



Les formulations de saucisses ont donc été préparées comme décrit précédemment. Chaque type de saucisse était composé d'environ 70% de viande maigre et 20% de matières grasses de la bosse. Les saucisses étaient insérées dans des boyaux naturels de 10 mm de diamètre, fabriqués à partir d'intestins de mouton propres, puis découpées en unités de 10 cm de long (Figure 1). Les saucisses de dromadaire ainsi obtenues ont ensuite été placées sur des barquettes en

polystyrène et conditionnées sous vide dans des sachets multicouches transparents en polyéthylène basse densité (PEBD) et polyamide (PA), à l'aide d'une machine de conditionnement sous vide (VAC-20 SL 2A, EDESA, Barcelone, Espagne). Elles ont été conservées à l'abri de la lumière à 1 ± 1 °C pendant 35 jours. Par ailleurs, un lot témoin de saucisses (sans spiruline) a été préparé et conservé sous emballage individuel en conditions aérobies.

2.2. Analyse chimique de la poudre de spiruline et des saucisses de chameau

Pour l'analyse de la composition chimique de la poudre de spiruline et du saucisson de chameau, les teneurs en protéines brutes, lipides, glucides totaux, humidité et cendres ont été déterminées selon les méthodes de l'Association of Official Analytical Chemists (AOAC 2023). Les valeurs énergétiques pour 100 g (kcal et kJ) ont été calculées à l'aide des facteurs de conversion spécifiés dans le règlement

(UE) n° 1169/2011 (4 kcal/g et 17 kJ/g pour les protéines et les glucides, 9 kcal/g et 37 kJ/g pour les lipides) (CFIA, 2024 ; FDA, 2024 ; AOAC 2019). La teneur en composés phénoliques totaux (CPT) de la poudre de spiruline a été déterminée selon la méthode de Folin-Ciocalteu (Djenane *et al.*, 2019). Les résultats présentés correspondent à la moyenne de trois analyses.

2.3. Détermination du pH des saucisses de chameau

Le pH de la saucisse de dromadaire a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre numérique à sonde (modèle PH25 de la marque XS Instruments, Italie) en insérant directement l'électrode dans les

échantillons. L'appareil avait été préalablement étalonné avec des solutions tampon de pH 4,01 et 7,00 (XS Instruments).

2.4. Effets prébiotiques et activité antimicrobienne de la poudre de spiruline sur les cultures probiotiques

Les souches probiotiques utilisées dans cette étude sont *Lactobacillus salivarius* CECT 4063 et *Pediococcus acidilactici* CECT 9879, tandis que les pathogènes d'origine alimentaire utilisés sont *Staphylococcus aureus* CECT 4459 et *Escherichia coli* O157:H7 CECT 4267. Toutes ces souches ont été fournies par la Collection espagnole de cultures types (CECT) et conservées dans des cryovials (réf. 409113/6 de Deltalab, Barcelone, Espagne) à -80 °C. Pour standardiser l'inoculum, chaque souche probiotique a été incubée dans un bouillon Man Rogosa et Sharpe (MRS) (Merck, Darmstadt, Allemagne) à 37 °C pendant 24 heures dans un bocal anaérobie (Anaero Jar™ 2,5 l, Oxoid Ltd., Basingstoke, Royaume-Uni), comprenant un générateur de gaz (AnaeroPack, Mitsubishi Gas Chemical Co., Tokyo, Japon). Les souches de pathogènes d'origine alimentaire ont été incubées dans un bouillon BHI (Brain Heart Infusion) à 37 °C pendant 24 heures. Après l'incubation, leur concentration a été mesurée par spectrophotométrie (Spectronic 20, Bausch & Lomb, Rochester, NY, États-Unis) puis confirmée par ensemencement sur gélose PCA (Plate Count Agar). Les charges bactériennes finales étaient les suivantes : $1,5 \times 10^9$ UFC/mL pour *Lactobacillus salivarius*, $3,2 \times 10^9$ UFC/mL pour *Pediococcus acidilactici*, $1,2 \times 10^8$ UFC/mL pour *Staphylococcus aureus* et $2,5 \times 10^8$

UFC/mL pour *Escherichia coli* O157:H7. L'effet prébiotique de la spiruline (SP) sur ces deux souches a été testé dans des plaques à 96 trous à fond plat, incubées à 37 °C pendant 24 heures sous agitation orbitale continue à 150 tours par minute. Pour ce faire, des dilutions en série par demi-concentrations ont été réalisées dans une gamme de concentrations de spiruline allant de 0,02% à 10% (v/v) dans des tubes stériles de 10 mL contenant des cultures probiotiques pures en bouillon MRS. La croissance bactérienne a été suivie par mesure de la densité optique (DO à 630 nm) toutes les trois heures pendant 24 heures.

L'aptitude des souches probiotiques sélectionnées à inhiber la croissance de bactéries pathogènes a été évaluée par la méthode de comptage sur plaque, en coculture. Des cultures de *S. aureus* et d'*Escherichia coli* incubées pendant la nuit ont été mises en suspension dans un bouillon de tryptone de soja additionné d'extrait de levure (TSB-YE), tamponné avec du phosphate de sodium à pH 5,6-5,8, afin de simuler le pH normal de la viande. Des échantillons de saucisse de dromadaire fraîche contenant des probiotiques (5 g) ont été agités dans des flacons contenant 50 mL d'eau peptonée stérile à 0,1% afin d'obtenir un bouillon de viande. Un millilitre de chaque suspension de bactéries pathogènes et un

millilitre de chaque suspension de probiotiques ont ensuite été ajoutés successivement à chaque flacon.

Les flacons contenant le mélange de bouillon de saucisse de dromadaire enrichi en SP, en probiotiques et en pathogènes ont été incubés à 8 ± 2 °C pendant 8 jours, afin de simuler les conditions de réfrigération typiques des supermarchés. Les variations du nombre de *S. aureus* ont été évaluées par ensemencement sur gélose Baird-Parker (Oxoid, réf. CM275) enrichie en émulsion de jaune d'œuf-tellurite (Oxoid, réf.

SR054C), puis incubée à 37 °C pendant 48 heures. Le dénombrement d'*E. coli* a été réalisé sur gélose MacConkey au céfixime-tellurite-sorbitol (CT-SMAC) (DIFCO Lab, Detroit, Michigan, États-Unis), incubée à 37 °C pendant 24 heures. L'analyse a porté sur l'impact de toutes les variables catégorielles, notamment la souche probiotique, le prébiotique SP et sa concentration, ainsi que la souche pathogène. Chaque échantillon a été analysé en triplicata et les résultats sont exprimés en log UFC/mL.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Composition chimique et teneur en composés phénoliques totaux (CPT) de la poudre de spiruline

L'analyse de la poudre de spiruline (Tableau1) a révélé une teneur élevée en protéines (66,88%), une forte proportion de glucides (20,73%) et de cendres (5,11%), ainsi qu'une faible teneur en matières grasses (3,13%). Ces caractéristiques expliquent sa valeur calorique relativement basse (378 kcal pour 100 g). Ces valeurs concordent avec celles publiées précédemment (Lambiase *et al.*, 2023). Les bienfaits potentiels de la spiruline pour la santé sont principalement dus à sa composition chimique, qui comprend de protéines contenant des acides aminés essentiels, des minéraux (notamment du Fer), des concentrations élevées d'acides gras polyinsaturés oméga 3 et de vitamines. Grâce à sa teneur élevée en protéines, la spiruline figure parmi les sources de protéines les plus riches, tant végétales qu'animales. L'incorporation de ces algues dans les produits carnés permettrait donc d'améliorer leur teneur en tous les

nutriments mentionnés. Les protéines jouent un rôle crucial pour améliorer non seulement la valeur nutritionnelle, mais aussi la texture et les qualités organoleptiques des saucisses. Les saucisses de dromadaire enrichies en spiruline peuvent donc être considérées comme une alternative plus saine aux saucisses conventionnelles actuellement disponibles sur le marché. Le tableau 1 présente également les résultats de l'analyse des composés phénoliques totaux (CPT) dans l'extrait de SP, dont la concentration a atteint $8,94 \pm 0,16$ mg EAG/g d'échantillon. Les composés phénoliques sont considérés comme une source importante de molécules bioactives aux propriétés antimicrobiennes et antioxydantes. Ils sont constitués d'un cycle aromatique portant un ou plusieurs groupements hydroxyle (OH).

Tableau 1. Composition chimique et teneur totale en composés phénoliques de la poudre de spiruline utilisée dans cette étude.

Composant	Valeurs/100 g
Humidité	$4,15 \pm 0,05$
Protéine ¹	$66,88 \pm 0,16$
Matière grasse	$3,13 \pm 0,06$
Glucides ²	$20,73 \pm 1,38$
Cendres	$5,11 \pm 0,13$
Energie (kcal) ³	$378,62 \pm 0,41$
Energie (KJ) ⁴	$1584,16 \pm 1,74$
Composés phénoliques totaux (CPT)/Folin-Ciocalteu	
$8,94 \pm 0,16$ mg GAE/g	

¹Kjeldahl-N $\times 5,95$

²Comme différence (100 - (g [Eau + Protéine + Matière grasse + Cendres] /100 g)

³Valeur énergétique (Kcal) = (%Protéine \times 4) + (%Matière grasse \times 9) + (%Glucides \times 4).

⁴Valeur énergétique (KJ) = (%Protéine \times 17) + (%Matière grasse \times 37) + (%Glucides \times 17).

Apak *et al.* (2005) ont rapporté une teneur en polyphénols totaux (TPC) de la spiruline d'environ trois fois supérieure à celle obtenue dans notre étude

(26,64 mg EAG/g contre 8,94 mg EAG/g), et ont démontré sa capacité à inhiber 46% des radicaux libres. À l'inverse, Matos *et al.* (2020) ont observé des

concentrations plus faibles de polyphénols dans les extraits alcooliques (2,05 mg EAG/g) et aqueux (3,34 mg EAG/g) de spiruline. Parmi les composés phénoliques présents dans ces extraits, on trouve la catéchine, l'épicatéchine, le pyrocatechol, les acides chlorogénique et vanillique, la caféine, l'héspéridine, l'acide gallique, la naringénine, la naringine, le pyrogallol, l'acide *p*-coumarique, la quercétine et la rutine. De plus, il a été rapporté que l'extrait de spiruline contenant entre 4,50 et 27 mg GAE/g était capable d'inhiber 42 à 50% des radicaux libres (Kumar *et al.*, 2022). Rose *et al.* (28) ont constaté que les variations du pourcentage d'inhibition du DPPH et des teneurs totales en composés phénoliques dans la spiruline pouvaient être attribuées à différents stades

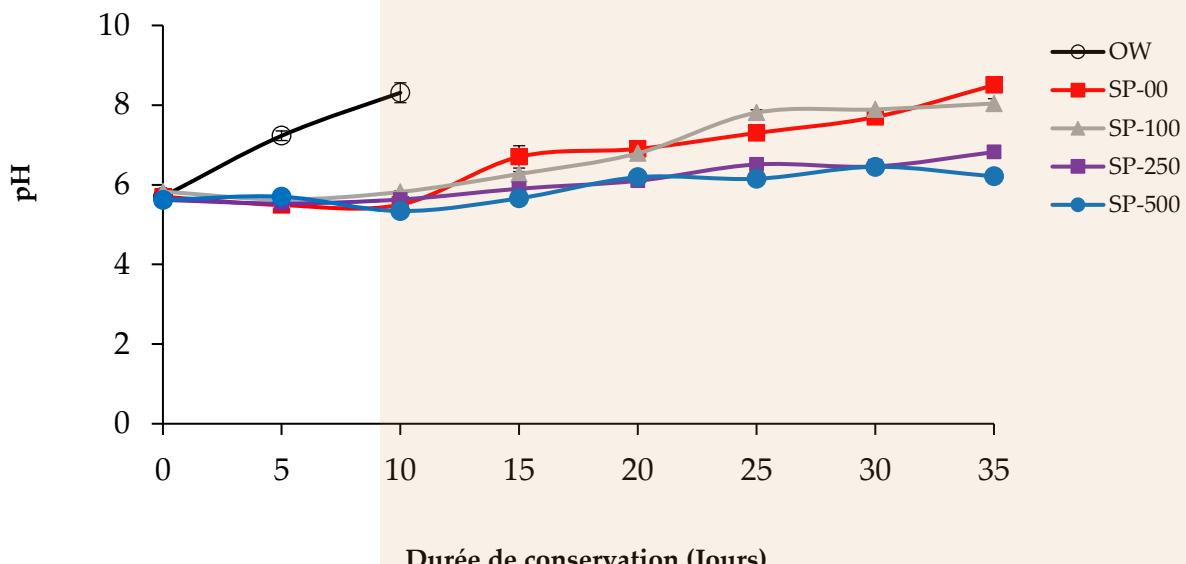
3.2. pH

Les valeurs initiales de pH sont comprises entre 5,62 et 5,83 dans tous les échantillons (Figure 2). Une augmentation significative du pH ($p < 0,05$) a toutefois été observée dans tous les échantillons au cours de la période de stockage, avec des valeurs finales comprises entre 6,21 et 8,50. Néanmoins, nous avons observé que, durant les deux premières semaines de stockage, les échantillons enrichis en spiruline présentaient des valeurs de pH relativement stables. Cette stabilité pourrait être attribuée au pouvoir tampon de la viande, à l'activité antimicrobienne de la spiruline ou au mélange d'épices utilisé, susceptibles d'inhiber le développement des micro-organismes altérant les

de maturité et de récolte des algues, ainsi qu'à des opérations de traitement telles que le séchage et le broyage. Agustini *et al.* (2015) ont observé qu'une spiruline dont la teneur en composés phénoliques variait entre 2,12 et 6,92 mg EAG/g présentait une IC₅₀ d'environ 33 pour l'activité de piégeage du DPPH. Les grandes variations des valeurs de TPC (total des composés phénoliques) de la spiruline rapportées dans la littérature s'expliquent par la présence de plusieurs facteurs (espèce d'algue, origine, conditions de culture, génétique, molécules bioactives, matière fraîche et sèche, type de solvants et conditions d'extraction, conditions expérimentales, etc.).

aliments et, par conséquent, de réduire la dégradation des protéines dans les saucisses stockées. Les propriétés tampon intrinsèques de la spiruline doivent également être prises en compte (Shafiei *et al.*, 2022). Le pH des saucisses suremballées et conservées en conditions aérobies (OW) a augmenté plus rapidement au cours du stockage, atteignant une valeur de 8,31 au dixième jour, tandis que celui des échantillons traités avec les produits SP-250 et SP-500 a atteint respectivement 6,82 et 6,21 au 35ème jour de stockage. Cette augmentation significative du pH pendant le stockage aérobique peut être attribuée à la libération de métabolites provenant de la dégradation des protéines, notamment d'aminés basiques, résultant de l'activité microbienne.

Figure 2 : pH de saucisses de dromadaire conditionnées et conservées à 1 ± 1 °C pendant 35 jours.



Les données représentent les moyennes \pm écart-type. (O) OW : échantillons non traités et non emballés ; (■) SP-00 : échantillons non traités et emballés sous vide ; (▲) SP-100 : échantillons traités avec 100 mg/kg de SP et emballés sous vide ; (■) SP-250 : échantillons traités avec 250 mg/kg de SP et emballés sous vide ; (●) SP-500 : échantillons traités avec 500

mg/kg de SP et emballés sous vide. L'absence de données après 10 jours de conservation pour les échantillons OW est due à une prolifération excessive de micro-organismes d'altération et à une odeur très désagréable.

Plusieurs auteurs suggèrent que le microbiote présent à la surface de la viande au début du stockage peut produire et libérer des métabolites issus de la dégradation des protéines, principalement des amines basiques, susceptibles de modifier le pH du produit stocké (Wu *et al.*, 2024). Pour appuyer cette

hypothèse, Yehia *et al.* (2021) ont rapporté une diminution significative du pH d'échantillons de viande de dromadaire conditionnés sous vide et traités au chitosane et au citrox, diminution qui pourrait être attribuée à l'activité antimicrobienne de ces deux composés.

3.3. Composition chimique des saucisses de chameau

Concernant la composition chimique des saucisses de dromadaire fraîchement préparées, les résultats moyens indiquent une teneur en eau de $56,92\% \pm 1,80\%$, en protéines de $17,62\% \pm 0,57\%$ et en matières grasses de $11,37\% \pm 0,42\%$. Ces résultats sont conformes à ceux d'études antérieures sur les saucisses de viande, qui ont mis en évidence une teneur en eau de 51,3%, en protéines de 15,9% et en matières grasses de 13% dans des saucisses composées à 100% de viande de chameau.

La composition chimique de ces produits revêt une importance particulière, car elle permet de renseigner sur la qualité de la matière première, mais aussi de déterminer les valeurs technologiques et nutritionnelles, ainsi que l'acceptabilité globale. La teneur en eau de la viande de chameau, par exemple, détermine sa jutosité et sa durée de conservation. À l'inverse, les protéines et les lipides jouent un rôle crucial dans la composition de la viande, notamment en ce qui concerne la structure, la texture et les

qualités organoleptiques. Bien que la viande de dromadaire soit moins consommée que d'autres types de viande, elle mérite une attention particulière en raison de ses propriétés nutritionnelles exceptionnelles. Contrairement aux viandes rouges traditionnelles, elle est particulièrement riche en acides aminés et en minéraux, et contient une quantité importante de graisses insaturées. De plus, ses propriétés hypoallergéniques en font un ingrédient précieux pour la fabrication d'aliments fonctionnels. Plusieurs auteurs ont décrit les propriétés fonctionnelles des produits alimentaires enrichis en substances algales. Agregan *et al.* (2018) ont rapporté que la teneur en matières grasses des produits carnés restait inchangée après l'ajout d'extraits d'algues à raison de 0,05%. Malgré leur faible teneur en matières grasses, l'ajout d'algues dans les produits carnés pourrait avoir un effet positif sur leur profil d'acides gras, en raison de leur richesse en AGPI.

3.4. Effet prébiotique de la spiruline sur l'activité antagoniste des souches probiotiques contre les bactéries pathogènes

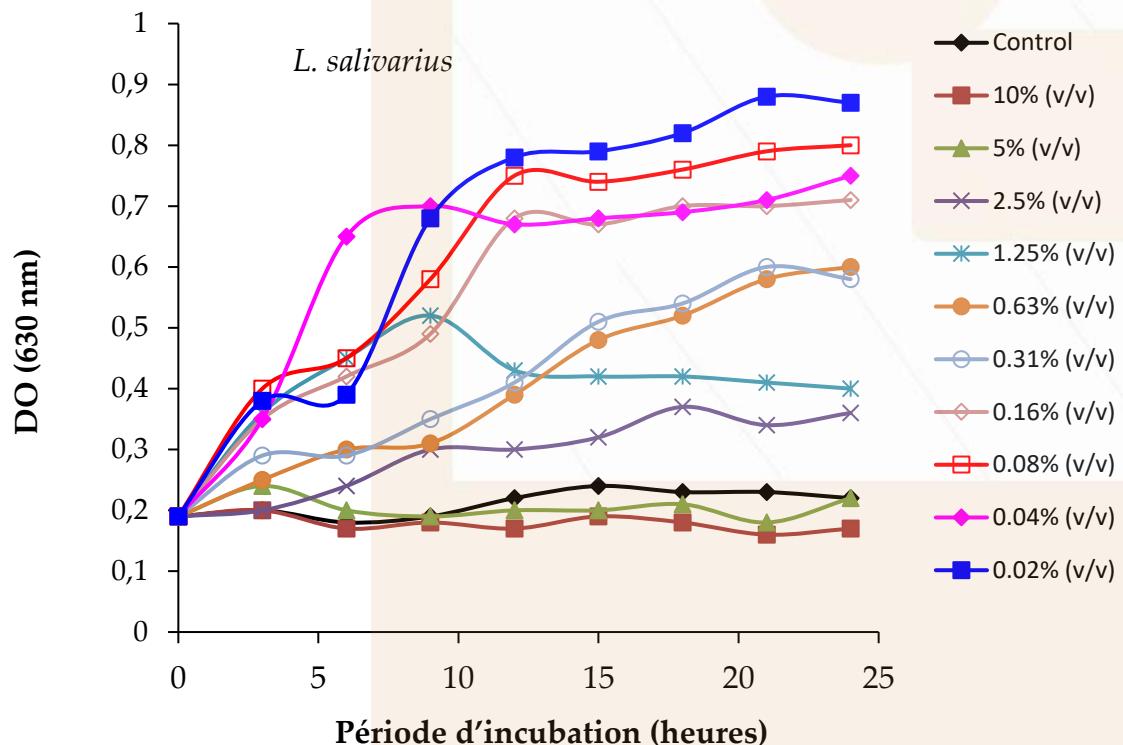
Pour garantir la haute qualité et la sécurité de la viande, des techniques d'emballage telles que l'emballage sous atmosphère modifiée (MAP), l'emballage sous vide (S/V), l'emballage actif et l'emballage intelligent ont été utilisées avec succès, parfois en combinaison avec des conservateurs naturels. Le développement de saucisses de dromadaire dans le cadre de cette étude nécessite de comprendre son comportement lors du stockage, car ce type d'aliment est périssable sur le plan microbiologique et peut présenter un risque pour la santé des consommateurs. Dans les régions arides d'Algérie, où la viande est souvent manipulée à des températures inadaptées, des mesures de sécurité supplémentaires sont nécessaires pour ce type de produit. À notre connaissance, la littérature scientifique disponible sur la sécurité microbiologique des produits dérivés du dromadaire est limitée, en particulier en ce qui concerne les

micro-organismes pathogènes. Face à ce manque de connaissances, nous avons étudié l'effet prébiotique de l'enrichissement en spiruline sur l'activité antimicrobienne des bactéries lactiques contre les micro-organismes pathogènes. Nos résultats *in vitro* obtenus avec *L. salivarius* montrent que si des concentrations de spiruline supérieures ou égales à 5% inhibent la croissance bactérienne, des concentrations inférieures ou égales à 0,16% la stimulent de manière significative (Figure 3). Les autres concentrations intermédiaires testées n'ont pas d'effet notable sur la croissance de *L. salivarius*. De même, pour *P. acidilactici*, la spiruline est toxique à des concentrations supérieures à 5%, tandis que des concentrations comprises entre 0,02 et 0,08% stimulent la croissance bactérienne (Figure 4). Les concentrations intermédiaires n'ont cependant pas d'effet significatif sur la croissance. Nos résultats illustrent donc clairement l'effet prébiotique de

faibles concentrations de spiruline sur la croissance de *Lactobacillus salivarius* et de *Pediococcus acidilactici*. Cette observation est conforme à des études antérieures ayant démontré la capacité de la spiruline à augmenter le nombre de bactéries lactiques et de souches probiotiques (Beheshtipour *et al.*, 2012 ; Khaledabad *et al.*, 2019). La spiruline, une cyanobactéries, contient plusieurs composés bioactifs à effet prébiotique qui induisent la croissance des bactéries lactiques, tels que des acides aminés libres, de l'acide linoléique et de l'adénine. Gupta *et al.*

(2017) ont étudié l'effet des cyanobactéries sur les bactéries probiotiques, tandis que des recherches ultérieures menées par Pandey *et al.* (2015) et Lv *et al.* (2021) ont montré qu'une utilisation combinée de prébiotiques et de probiotiques sous forme de symbiose procure un effet positif supplémentaire par rapport à leur utilisation individuelle. Plusieurs études ont rapporté l'effet bénéfique de la spiruline sur la viabilité et la croissance des bactéries lactiques et probiotiques dans le lait fermenté et les yaourts (Beheshtipour *et al.*, 2012 ; Khaledabad *et al.*, 2019).

Figure 3 : Courbes de croissance de *L. salivarius* en présence de dilutions numériques du SP (10 – 0,02% v/v).



Par la suite, l'effet prébiotique de la spiruline sur *L. salivarius* et *P. acidilactici* a renforcé leur effet antimicrobien contre deux pathogènes alimentaires courants, *Escherichia coli* O157:H7 et *Staphylococcus aureus*, contaminants bien connus pour leur capacité à infecter la viande et ses dérivés. Les expériences ont été menées dans un bouillon de saucisse de dromadaire à une température de $8 \pm 2^\circ\text{C}$ afin de simuler un éventuel abus de température tout au long de la chaîne de commercialisation de la viande. Les résultats (Figure 5) ont révélé que les concentrations d'*E. coli* et de *S. aureus* dans le bouillon de saucisse de dromadaire additionné de *L. salivarius* et de *P. acidilactici* étaient inférieures à celles obtenues dans les bouillons témoins ne contenant pas de souches probiotiques. Plus

précisément, *L. salivarius* a inhibé *E. coli* et *S. aureus* de 30 et 14% respectivement après huit jours d'incubation, tandis que *P. acidilactici* les a réduits de 3 et 17% respectivement au cours de la même période. L'inoculation de souches probiotiques n'a pas modifié de manière significative le pH des bouillons (données non présentées), ce qui indique que le pH n'était pas un facteur contribuant à l'inhibition de la croissance des agents pathogènes. Nous pensons que l'utilisation de souches probiotiques peut être moins efficace dans la matrice alimentaire que dans les bouillons testés. Des recherches supplémentaires sont donc nécessaires pour comprendre de manière exhaustive l'effet des probiotiques et élucider leurs mécanismes d'action précis.

Figure 4 : Courbes de croissance de *P. acidilactici* en présence de dilutions numériques du SP (10 – 0,02 % v/v).

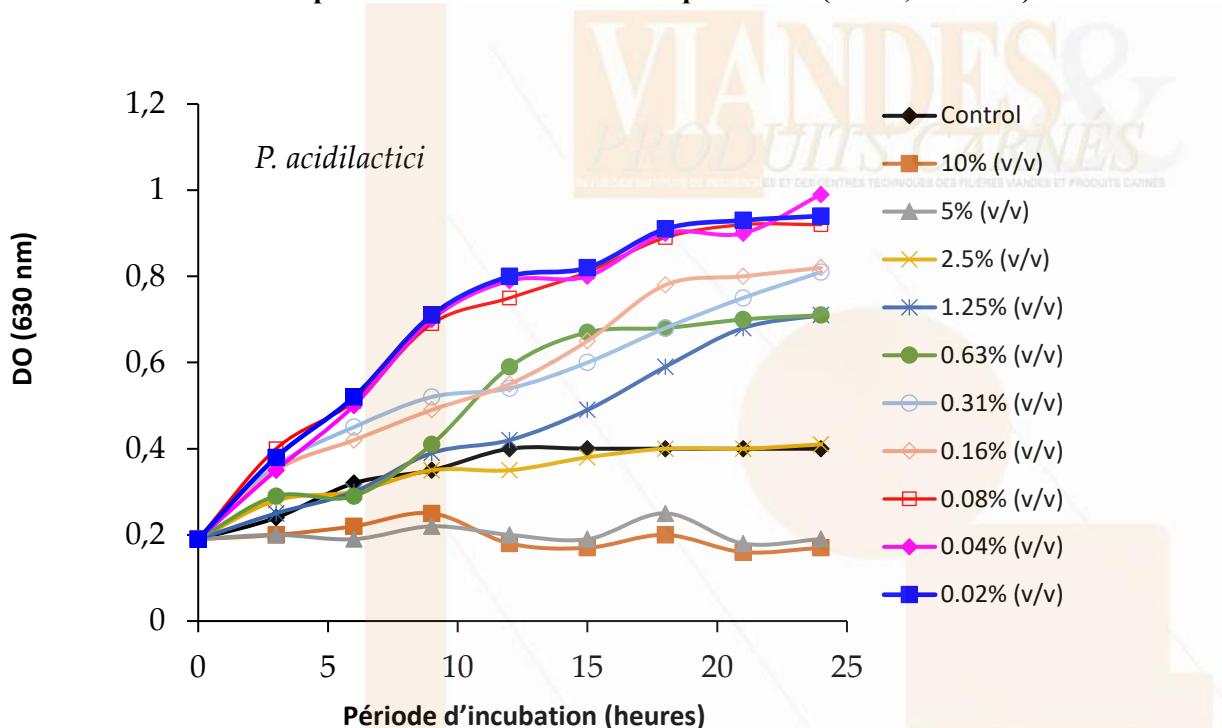
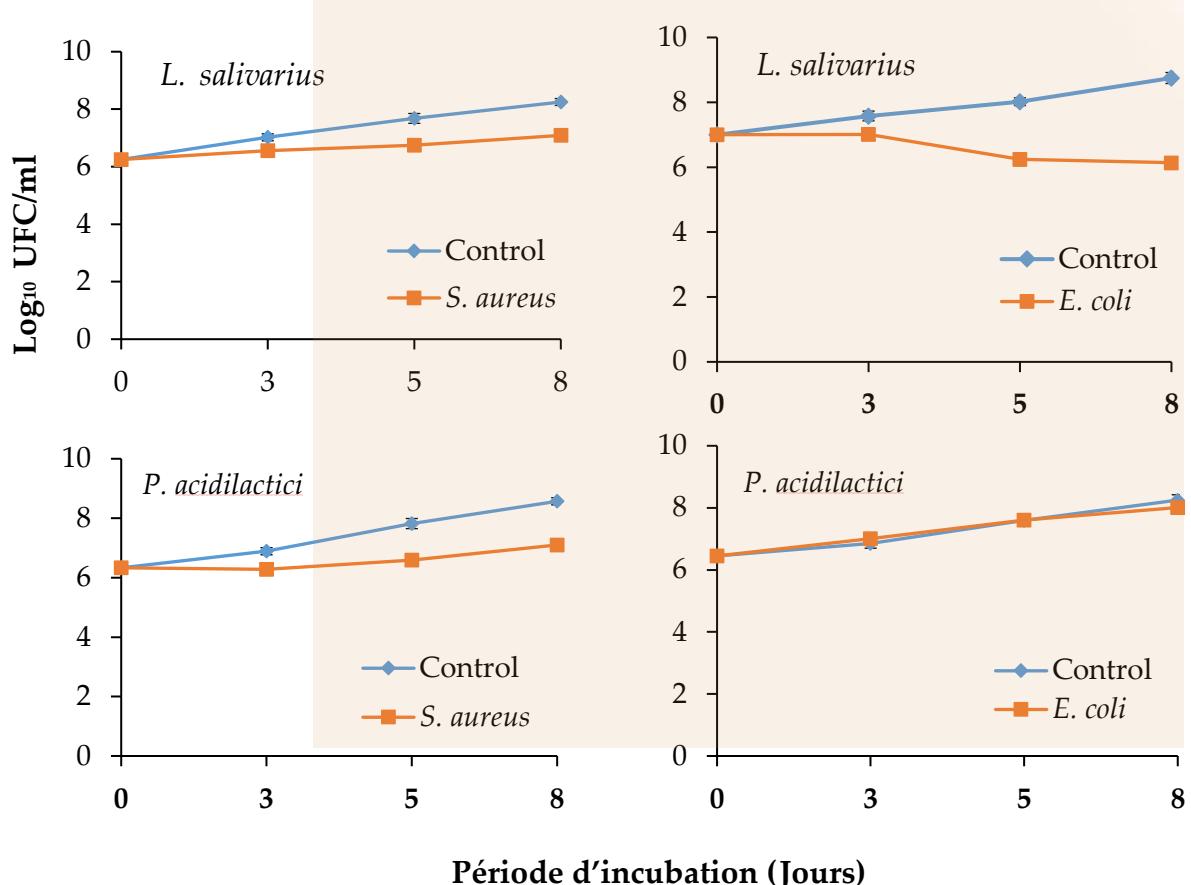


Figure 5 : Effets des souches probiotiques *Lactobacillus salivarius* et *Pediococcus acidilactici* sur le nombre de *Staphylococcus aureus* et d'*Escherichia coli* dans des bouillons de saucisse de dromadaire traités avec du SP, incubés pendant 8 jours à 8 ± 2 °C.



Plusieurs études ont porté sur l'effet antimicrobien *in vitro* de nombreux extraits d'algues sur *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*, révélant une efficacité variable selon le procédé d'extraction et l'espèce d'algue utilisée. La phycocyanine, extraite de la spiruline, a démontré une activité antibactérienne *in vitro* contre *S. aureus* et *E. coli*. L'extrait

d'*Arthrospira platensis* (ou spiruline) a présenté une activité antibactérienne intéressante contre *Listeria monocytogenes* dans le tartare de saumon (*Salmo salar*) : il est bactériostatique à 0,45% et bactéricide à 0,90%. Il pourrait ainsi ouvrir la voie à son utilisation comme conservateur alimentaire (Martelli *et al.*, 2020).

IV. CONCLUSIONS

À la lumière des résultats obtenus, la poudre de spiruline apparaît comme un ingrédient innovant et intéressant pouvant être incorporé avec succès à des concentrations comprises entre 100 et 500 mg/kg dans les saucisses épicées à base de viande de dromadaire. Cet enrichissement présente une capacité prébiotique qui favorise la croissance des bactéries lactiques utilisées comme probiotiques. Les saucisses de dromadaire à la spiruline présentent donc un potentiel en tant qu'aliment fonctionnel, avec les effets bénéfiques possibles des probiotiques lorsqu'ils sont ingérés dans le cadre de l'alimentation. Des recherches supplémentaires, appuyées par des études *in vivo*, sont nécessaires pour comprendre de manière exhaustive l'effet prébiotique de la spiruline et ses

mécanismes d'action. Cette recherche sur les saucisses de dromadaire peut contribuer de manière significative à la création de produits innovants répondant aux besoins des populations du sud algérien en matière de santé et de développement, tout en participant au développement durable des régions sahariennes. Elle soutient également l'idée d'intégrer la spiruline dans la filière carnée, tant du point de vue nutritionnel que sanitaire, en raison de ses nombreux avantages. Face à la demande croissante des consommateurs pour des produits carnés fonctionnels et de haute qualité, la spiruline est appelée à devenir un élément essentiel de l'évolution future de la filière. C'est une voie possible dans un contexte de diversification des produits camelins.

References

- Agredan R., Franco D., Carballo J., Tomasevic I., Barba F.J., Gomez B., Muchenje V., Lorenzo J.M. (2018). Shelf life study of healthy pork liver pate with added seaweed extracts from *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* and *Bifurcaria bifurcata*. *Food Research International*, 112, 400–411.
- Agustini T.W., Suzery M., Sutrisnanto D., Maaruf W.F., Hadiyanto H. (2015). Comparative study of bioactive substances extracted from fresh and dried *Spirulina* sp. *Procedia Environmental Science*, 23, 282–289.
- AOAC. International. *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 22th ed.; Current through Revision 1; AOAC International: Gaithersburg, MD, USA, 2023.
- AOAC. *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 21st ed.; Latimer, G.W.J., Ed.; AOAC International: New York, NY, USA, 2019; pp. 123–158.
- Apak R., Güçlü K., Ozyürek M., Karademir S.E., Altun M. (2005). Total antioxidant capacity assay of human serum using copper(II)-neocuproine as chromogenic oxidant: the CUPRAC method. *Free Radical Research*, 39, 949–961.
- Beheshtipour H., Mortazavian A.M., Haratian P., Khosravi-Darani K. (2012). Effects of *Chlorella vulgaris* and *Arthrospira platensis* addition on viability of probiotic bacteria in yogurt and its biochemical properties. *European Food Research and Technology*, 235, 719–728.
- Canadian Food Inspection Agency (CFIA). Food labelling for industry. Available online: <https://www.inspection.gc.ca/foodlabel-requirements/labelling/industry/nutrition-labelling/elements-within-the-nutrition-factstable/eng/1389206763218/1389206811747?chap=1> (accessed on 10 March 2024).
- Djenane D., Aboudaou M., Djenane F., García-Gonzalo D., Pagán R. (2020). Improvement of the shelf-life status of modified atmosphere packaged camel meat using nisin and *Olea europaea* Subsp. *Laperrinei* leaf extract. *Foods*, 9, 1336.
- Djenane D., Aider M. (2024). The one-humped camel: The animal of future, potential alternative red meat, technological suitability and future perspectives. *F1000Research*, 11, 1085.
- Djenane D., Aboudaou M., Ferhat M.A., Ariño A. (2019). Effect of the aromatisation with summer savory (*Satureja hortensis* L.) essential oil on the oxidative and microbial stabilities of liquid whole eggs during storage. *Journal of Essential Oil Research*, 31(5), 444–455.

Elgasim E.A., Alkanhal M.A. (1992). Proximate composition, amino acids and inorganic mineral content of Arabian Camel meat: comparative study. *Food Chemistry*, 45, 1–4.

Food Drug Administration (FDA). Nutrition Labeling of Food. 21 CFR 101.9. Available online: <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part-101/subpart-A/section-101.9> (accessed on 10 March 2024).

Gupta S., Gupta C., Garg A.P., Prakash D. (2017). Prebiotic efficiency of blue green algae on probiotics microorganisms. *Journal of Microbiology and Experimentation*, 4, 00120.

Khaledabad M.A., Ghasempour Z., Kia E.M., Bari M.R., Zarrin R. (2019). Probiotic yoghurt functionalised with microalgae and zedo gum: Chemical, microbiological, rheological and sensory characteristics. *International Journal of Dairy Technology*, 73, 67–75.

Kumar A., Ramamoorthy D., Kumar Verma D., Kumar A., Kumar N., Raj Kanak K., Marwein B.M., Mohan K. (2022). Antioxidant and phytonutrient activities of *Spirulina platensis*. *Energy Nexus*, 6, 100070.

Lambiase C., Braghieri A., Barone C.M.A., Di Francia A., Pacelli C., Serrapica F., Lorenzo J.M., De Rosa G. (2023). Use of cyanobacterium *Spirulina (Arthospira platensis)* in buffalo feeding: Effect on Mozzarella cheese quality. *Foods*, 12, 4095.

Lv M., Lei Q., Yin H., Hu T., Wang S., Dong K., Pan H., Liu Y., Lin Q., Cao, Z. (2021). *In vitro* effects of prebiotics and synbiotics on *Apis cerana* gut microbiota. *Polish Journal of Microbiology*, 70, 511–520.

Martelli F., Cirlini M., Lazzi C., Neviani E., Bernini V. (2020). Edible seaweeds and *Spirulina* extracts for food application: *In vitro* and *in situ* evaluation of antimicrobial activity towards foodborne pathogenic bacteria. *Foods*, 9, 1442.

Matos J., Cardoso C.L., Falé P., Afonso C.M., Bandarra N.M. (2020). Investigation of nutraceutical potential of the microalgae *Chlorella vulgaris* and *Arthospira platensis*. *International Journal of Food Science and Technology*, 55, 303–312.

Mohammed H.H.H., Jin G., Ma M., Khalifa I., Shukat R., Elkhedir A. E., Zeng Q., Noman A. E. (2020). Comparative characterization of proximate nutritional compositions, microbial quality and safety of camel meat in relation to mutton, beef, and chicken. *LWT - Food Science and Technology*, 118, 108714.

Pandey K.R., Naik S.R., Vakil B.V. (2015). Probiotics, prebiotics and synbiotics – a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 7577–7587.

Shafiei R., Mostaghim T. (2022). Improving shelf life of calf fillet in refrigerated storage using edible coating based on chitosan/natamycin containing *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris* microalgae. *Food Measurement and Characterization*, 16, 145–161.

Wu Z., Xu M., He W., Li X., Qiu C., Zhang J. (2024). Unraveling the physicochemical properties and bacterial communities in rabbit meat during chilled storage. *Foods*, 13, 623.

Yehia H.M., Al-Masoud A.H., Elkhadragy M.F., Korany S.M., Nada H.M.S., Albaridi N.A., Alzahrani A.A., AL-Dagal M.M. (2021). Improving the quality and safety of fresh camel meat contaminated with *Campylobacter jejuni* using citrox, chitosan, and vacuum packaging to extend shelf life. *Animals*, 11, 1152.